


DEVICE FOR PRODUCING AN EXTREME ULTRAVIOLET AND SOFT X RADIATION FROM A GASEOUS DISCHARGE**Publication number:** JP2003503814T**Publication date:** 2003-01-28**Inventor:****Applicant:****Classification:**

- International: G21K1/00; G03F7/20; H01L21/027; H05G2/00;
G21K1/00; G03F7/20; H01L21/02; H05G2/00; (IPC1-7):
H05G2/00; G21K1/00; H01L21/027

- European: H05G2/00P2; G03F7/20T12

Application number: JP20010506273T 20000629

Priority number(s): DE19991062160 19991222; EP19990112403 19990629;
WO2000EP06080 20000629

Also published as: WO0101736 (A1)[Report a data error here](#)

Abstract not available for JP2003503814T

Abstract of corresponding document: **WO0101736**

The invention relates to a device for producing an extreme ultraviolet and soft X radiation from a gaseous discharge that is effected on the left branch of the Paschen curve. The inventive device is provided with two main electrodes between which a gas-filled intermediate space is defined. Said main electrodes have respective openings which define an axis of symmetry (5). The device is further provided with means for increasing the conversion efficiency. The inventive device is especially useful for applications which require extreme ultraviolet (EUV) radiation or soft X radiation in the wavelength range of from about 1-20 nm, and especially about 13 nm, for example for EUV lithography.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2003-503814

(P2003-503814A)

(43) 公表日 平成15年1月28日 (2003.1.28)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード* (参考)

H 0 5 G 2/00

G 2 1 K 1/00

X 4 C 0 9 2

G 2 1 K 1/00

H 0 5 G 1/00

K 5 F 0 4 6

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 3 1 S

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2001-506273(P2001-506273)
(86) (22) 出願日 平成12年6月29日 (2000.6.29)
(85) 翻訳文提出日 平成13年12月28日 (2001.12.28)
(86) 国際出願番号 PCT/EP00/06080
(87) 国際公開番号 WO01/001736
(87) 国際公開日 平成13年1月4日 (2001.1.4)
(31) 優先権主張番号 99112403.3
(32) 優先日 平成11年6月29日 (1999.6.29)
(33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)
(31) 優先権主張番号 199 62 160.8
(32) 優先日 平成11年12月22日 (1999.12.22)
(33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

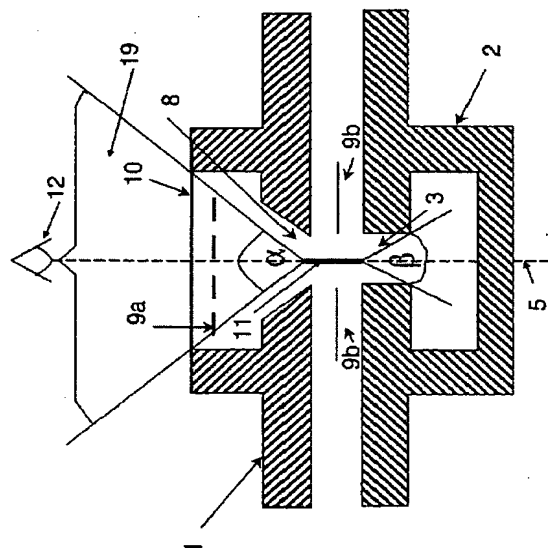
(71) 出願人 フラウンホッファー・ゲゼルシャフト ツ
ァ フェルダールング デア アンゲヴァ
ンテン フォアシュンク エー. ファオ.
ドイツ連邦共和国 ディー 80636 ミュ
ンヘン レオンロートシュトラッセ 54
(72) 発明者 ウィリー ネフ
ベルギー国 ビー-4721 ケルミス ヨセ
フ・オーベルツ・ストラッセ 40
(72) 発明者 ライナー ルベルト
ベルギー国 ビー-4721 ケルミス プラ
ツツェゲル 21
(74) 代理人 弁理士 三澤 正義

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガス放電から超紫外線および軟X線を生成する装置

(57) 【要約】

本発明は、パッシェン曲線の左区間で動作するガス放電から超紫外線および軟X線を生成する装置であって、ガスを充填した空隙に間に設けた2個の主電極を備え、該主電極はそれによって対称軸 (5) が画定されるそれぞれ1つの開口部を設け、かつ変換効率を高めるための手段を備えている装置に関する。好適な利用分野は、例えばEUVリソグラフィのような、波長範囲が約1~20 nm、特に13 nmである超紫外線 (EUV) または軟X線を使用する分野である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ガス放電から超紫外線および軟X線を生成する装置であって、ガスを充填した空隙（7）を間に設けた2個の主電極（1、2）を備え、前記主電極（1、2）はそれによって対称軸（5）が画定されるそれぞれ1つの開口部（3、4）を設け、かつ前記電極は、ガス放電が位置合わせされた開口部（3、4）によって規定される容積内でのみ行われるように形成され、かつ対称軸上に生成されるプラズマ・チャネルがEUV線および／またはX線の発生源であり、変換効率を高めるための手段（8、9a、9b、13a、13b、14、15、17）を設けていることを特徴とする装置。

【請求項2】 前記開口部（3、4）の少なくとも1つは前記空隙（7）側よりも前記空隙（7）とは反対側の方が大きいことを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】 前記開口部（3、4）は円錐台形で形成されていることを特徴とする請求項2に記載の装置。

【請求項4】 前記開口部は非貫通窪み、および特に袋穴として形成されていることを特徴とする請求項1ないし3の少なくとも1項に記載の装置。

【請求項5】 補助電極（9a、9b）を備えることを特徴とする請求項1ないし4の少なくとも1項に記載の装置。

【請求項6】 補助電極（9a）を前記主電極（1、2）の一方の開口部（3、4）の背後に備えることを特徴とする請求項5に記載の装置。

【請求項7】 対称軸（5）上に開口部を有する前記補助電極（9b）を前記主電極（1、2）の間に備えることを特徴とする請求項5に記載の装置。

【請求項8】 双方の主電極（1、2）は複数個の開口部（14）を備えることを特徴とする請求項1ないし7の少なくとも1項に記載の装置。

【請求項9】 前記開口部（14）は前記中心を貫いて前記対称軸（5）が延在する前記主電極（1、2）内に円形の形状で配設されていることを特徴とする請求項8に記載の装置。

【請求項10】 前記双方の主電極（1、2）は円形の開口部（17）を備え、前記円（17）の中心は前記対称軸（5）上に位置することを特徴とする請

求項1ないし7の少なくとも1項に記載の装置。

【請求項11】 電圧源としてパルス生成回路網(11)を備えていることを特徴とする請求項1ないし10の少なくとも1項に記載の装置。

【請求項12】 前記電極空隙(7)内の作動ガス用の前記ガス吸込口および前記吐出口の他に、少なくとも1つの補助的なガス吸込口またはガス吐出口(13a、13b)を備えていることを特徴とする請求項1ないし11の少なくとも1項に記載の装置。

【請求項13】 ガスを充填した前記空隙(7)と前記装置の高真空領域(19)との間に真空分離のための毛管系を備えることを特徴とする請求項1ないし12のいずれか1項に記載の装置。

【請求項14】 前記毛管系は超小型溝付き板またはクマクホフ(Kumakhov)レンズであることを特徴とする請求項13に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【技術分野】

本発明は請求項1の前文に記載のガス放電から超紫外線および軟X線を生成する装置に関する。好適な利用分野は、例えば超紫外線リソグラフィのような、波長範囲が約1～20nm、および特に13nmである超紫外線(EUV)または軟X線を使用する分野である。

【0002】

【背景技術】

ドイツ特許明細書第28 04 393 C2号は位置合わせされた電極の開口部の間の空隙内に少なくとも1つのプラズマ・チャンネルが形成されている、荷電粒子を生成し、かつ加速する電極装置を開示している。荷電粒子はプラズマ・チャンネルから出て、電磁放射線を放出しつつ固体に衝突する。可視光線またはX線が生成される。この方法の欠点は、ドイツ特許明細書第28 04 393 C2号に開示された粒子加速器では、磨耗し易い抑制固体が必要であり、そのために装置の寿命が短くなることである。さらに、粒子が約 10^{-4} 回(10⁻⁴—ten)衝突するごとに放射量子が生成されるので、放射線生成の効率が低くなる。

【0003】

米国特許明細書第4, 771, 447号は、電極間の空隙が真空排気され、ガスが押し込まれる形式の、ドイツ特許明細書第28 04 393 C2号と類似した電極形状を採用することを教示している。このガスパフ動作(Gas-Puff-Betrieb)の際に双方の電極間のいたるところにプラズマが発生し、その後、放射線を放出する個々のピンチ・プラズマ・チャンネルへと集結する。この場合、ガス放電はパッシェン曲線(Paschenkurve)の右区間で処理される。これに対してパッシェン曲線の左区間での動作には、ガス容積内での点火が可能であり、ひいては特に磨耗を減少させることができるという利点がある。その上、パッシェン曲線の左区間での動作では、放射線発生器と電圧源との間にスイッチ素子がなくても処理が可能であり、それによってプラズマ内

への低誘導性の、ひいては極めて効率が高いエネルギー結合が可能となる。それによって時間計測上で同じエネルギー結合の場合、より高い反復率でより小さいパルス・エネルギーが可能であり、ひいては電極装置の磨耗も低減する。必要ならば、パッセン曲線の左区間での動作によって、比較的低いガス圧での処理も可能であり、それによりガス放電システム内での放射線吸収が低下する。このような理由から、ガスパフは放射線源としてはあまり適さない。

【0004】

同類の装置をドイツ特許明細書第197 53 696 A1号が開示している。ドイツ特許明細書第197 53 696 A1号から引用した図1は、単チャンネル疑似火花スイッチ(Einkanalpseudofunkenschalters)の形状を有し、ガスを充填した空隙(7)を間に有する陰極(1)と陽極(2)とを備えた電極装置を示している。双方の電極(1、2)はそれぞれ1つの開口部(3、4)を有しており、これを貫いて対称軸(5)が画定される。この電極装置の場合は、電荷担体の平均自由長さが電極間距離よりも長いので、ガス放電は電極間の最短の経路長さで拡散することはできない。そこで、放電区間が充分にある場合だけしか、放電を保持するために充分な数の電離衝突が可能ではないので、ガス放電は比較的長い経路を探す。このような比較的長い経路は開口部(3、4)を通してあらかじめ与えることが可能で、これらを貫いて対称軸(5)が画定される。その結果、上記に対称軸(5)を有し、側面の広がりがボアホールによって規定される単一のプラズマ・チャンネルだけが形成される。従って、このガス放電の場合は、プラズマは開口部の直径により規定される対称軸(5)上の円筒の内部で点火される。引き続いて、プラズマは直径がより小さい円筒へと集結する。従って、ドイツ特許明細書第197 53 696 A1号におけるプラズマはチャンネル・ピンチ・プラズマである。すなわち、点火段階だけではなく、プラズマが収縮した後も絶えず、外形寸法がチャンネルを形成するプラズマが存在する。このプラズマ自体は放射媒体である。放射線の減結合(Auskopplung)は主電極の開口部(3、4)を貫く対称軸に沿って軸方向で行われる。

【0005】

商業上の目的、特に超紫外線リソグラフィ用に、先行技術から公知の方法よりもさらに高い放射線強度が必要である。従って例えば、プラズマ・チャネル、およびひいては電極間隔は標準的には僅か数ミリの大きさしか可能ではなく、そのために超紫外線の放射源の強度が限定される。さらに、電極間の空隙内に必然的に必要である作動ガスは、これがプラズマ室を出る前に発生する放射線の無視できない部分を吸収する。

【0006】

本発明の技術的な課題は、超紫外線領域（波長が約 $\lambda = 10$ ないし 20 nm ）、および軟X線波長領域（波長が約 $\lambda = 1$ ないし 10 nm ）内での特に高い放射線強度を達成可能な放射線放出プラズマを生成する装置を製造することにある。

【0007】

上記の技術的な課題は請求項1に記載の特徴によって達成される。好適な実施形態は従属クレームに記載されている。

【0008】

本発明によって、上記の課題は、ガスを充填した空隙が間にある2個の主電極を備え、該主電極はそれぞれ1つの開口部を有し、該開口部を貫いて対称軸が画定され、かつ補助的に変換効率を高める手段を利用した、ガス放電から超紫外線および軟X線を生成する装置の場合達成されることが判明した。

【0009】

例えばEUVリソグラフィのように、高い放射線出力を必要とする用途では、結合可能な電気出力は限定される。従って、このように結合されたエネルギーをいかに効率よく放射線エネルギーに変換、もしくは転換するか、すなわち、変換効率がいかに高いかも重要である。その場合に当該の放射線エネルギー、もしくは放射線は、利用者にとって実際に使用できるような、すなわち最終的には機器を必要としないようなものでなければならない。

【0010】

変換効率を高めるための以下に記載する手段によって、ガス放電の出力電位をより良好に活用でき、所望のとおりと比較的高い放射線出力を達成することが可能である。このことは主として、プラズマ粒子密度を高めることによって確実に

される。これらの手段の全てによって、放射線強度は所望のとおり高められる。

【0011】

本発明の装置の好適な実施形態では、変換効率を高める手段として、様々な方法と態様で電極装置内に配置できる少なくとも1個の補助電極を備えることができる。

【0012】

補助電極（単数または複数）を主電極の開口部の背後に、すなわち主電極の開口部の空隙とは反対側に配置することが可能である。このように、正電位に帯電したある補助電極を負電位に帯電された主電極の背後に配置することが有利であることが判明している。このような配線によって先ず、ガス放電の点火電界強度もしくは点火電圧が高まる。このことによって同時に、ガス放電内により多くのエネルギーが結合されるので、この作用を補償するために一定の点火電圧に調整される。パッシェンの法則によれば、点火電圧は電極間隔とガス圧との関数である。従って、本発明の装置を動作させる際に、通常はガス圧が高まると点火電圧は低下するので、パッシェン曲線の左区間でガス圧をより高く調整することによって一定の点火電圧が調整される。しかしガス圧が高くなると、プラズマ粒子密度が高まり、もしくは全体として放射線の放出に寄与する粒子が多くなる。この場合にガス放電内に蓄積された同じエネルギー量で放射線の放出が高まり、ひいては変換効率が高くなる。

【0013】

さらに、主電極間に補助電極を配置することも可能である。その場合、プラズマの集結後、プラズマ・チャネルは対称軸上にあるので、補助電極は対称軸上に開口部を設けなければならない。これによって、主電極の間隔を拡大することができる。この際に補助電極は主電極間にある絶縁体でのプラズマの望ましくない点火を防止する。これによって数センチの長さまでの明らかに長いプラズマ・チャネルを形成することができ、ドイツ特許明細書第197 53 696 A1号の場合のように数ミリに留まらない。さらに、それによって軸方向での観察、すなわち対称軸に沿った観察の場合に、10倍以上の放射線強度を利用することもできる。

【0014】

比較的長いプラズマ・チャネルで比較的強い放射線強度が得られる理由はエネルギー変換の効率が高くなるからである。単数または複数個の補助電極を間に設けた2個の主電極の電極構造は、陽極、陰極、および双方の間にあるプラズマを有する2個、またはそれ以上の簡単な電極構造であると考えてよい。その際、エネルギー変換はインピーダンスによって決定的に左右され、プラズマのインピーダンスが発生器のインピーダンスとほぼ同じである場合に理想的である。簡単な電極装置のインピーダンスは標準的には発生器のインピーダンスよりも明らかに低いので、直列に接続された複数個の電極を利用することで所望のとおりプラズマのインピーダンスも高くなる。より長くなったプラズマ・チャネルには、エネルギー変換が改善されれば、放射線を放出する粒子が多く含まれ、それによって所望のとおり放射線強度が高まる。

【0015】

その上、放射線を放出するプラズマ支柱がより長くなることによって、動作条件が整っていれば、誘導放出によって、従来までは高価な毛管放電によってのみ可能であった干渉性放射線が放出されるという利点が生ずる。この場合は、X線レーザーが生じ、その放射強度はプラズマ・チャネルの長さが長くなると指数的に高まるので、特に高い強度を達成可能である。

【0016】

主電極内の開口部は様々な形状に形成できる。まず、双方の開口部は貫通した開口部であってよい。この場合、それぞれの開口部は例えば、それぞれの電極内に穿設された円筒形の貫通穴でよい。そして、陰極開口部を通して放射線を減結合 (ausgekoppelt) することができる。

【0017】

もちろん、陽極の場合も貫通した開口部ではなく、例えば袋形状の窪みを選択してもよい。窪みを選択することによって、陽極の冷却度が向上し、かつ簡単になる。そして、窪みの深さは電極の厚みよりも浅くする。この場合も、開口部によって反対側、すなわち陰極側により長い電氣的な力線が得られるので、ガス放電を生成するための好適な方向がある。窪みは円筒形対称に形成してもよく、ま

たは円錐形でもよい。貫通する開口部の代わりに窪みを設ける場合は、電極間の領域内の電荷担体は最短区間を利用できる。これは電極間隔が小さいことと同じ効果が得られる。すなわち点火電界強度、もしくは点火電圧が高まる。点火電圧を一定に保つ必要がある場合は、より高いガス圧での処理によって可能になり、それにより所望の通りに放射線出力が高まる。要約すると、本装置のこのような構成では、貫通した陽極開口部の代わりとして、陽極内の窪み内での変換効率を高める手段が得られる。

【0018】

場合によっては、陽極の場合、開口部を全くなくすることさえ可能である。これは限界まで可能な限り小さい窪みの場合であると見なすことができ、それによって冷却は最適になり、点火強度は最高になる。

【0019】

別の好適な実施形態では、主電極は複数個の開口部を備えることができ、これらの開口部は対称軸を中心に対称に配置される。最も簡単な構造では、開口部は、電極装置の対称軸に原点、もしくは中心を有する円を形成する。それによって、プラズマの点火段階で開始半径 (Start radius) を自由に設定することができ、これは例えばドイツ特許明細書第197 53 696 A1号で提案されている方法では極めて限定的にしか可能ではない。従って、複数個の補助的な開口部により開始半径がより大きくなることで、プラズマ粒子の密度は高まるが、その理由は、現在の理解では開始半径によって規定される容積内に含まれる粒子だけがプラズマ状態に転換できるからである。しかし、この場合、対称軸上の中心開口部を単に拡大することは適当ではないが、それは研究によればガス放電の点火が弱まるからである。

【0020】

電極内に複数個の開口部がある場合は、多チャンネル疑似火花スイッチ (Mehrkanalpseudofunkenschalter) の場合と同様に単一のプラズマ・ストランドの点火時に時間的な同期性が確保されなければならない。そのためには先ず、数キロボルトから数10キロボルトの範囲の、十分に高い保持電圧を電極に印加しなければならない。電圧が十分に高い場合は、ガス放電

では一般に知られている電荷担体の増倍メカニズムによって、ガス放電が発生する。この場合は、点火は陰極に隣接する空間領域内への電荷担体（プラズマまたは電子）の注入による動作の起動によって誘発される。点火自体は所定の形状の電極で、電極間隔とガス圧との積がパッシェン曲線の左区間に位置するようなガス圧で行われる。主電極の開口部の背後の上記の補助電極によって、プラズマ・チャンネルの同時点火が改良される。主電極内に複数個の、対向する開口部を設けた場合は、同時点火の際に、陽極と陰極の開口部の間に個々の電流経路が形成される。電流パルス（電流パルスは標準的には2桁のキロアンペア領域に振幅を有している）もしくはこれと結合した固有磁界によって個々の電流経路は対称軸上で加速され、そこに円筒形対称のチャンネルの外形寸法を有するピンチプラズマを形成する。

【0021】

別の有利な実施形態では、主電極はそれぞれ1個の個別の環状開口部を設けることができる。その場合は、双方の主電極は対称軸上の開口部の他に、補足的に中心、もしくは原点が対称軸上にあるそれぞれ1個の同一の円形開口部を有している。

【0022】

本発明の別の有利な実施形態では、変換効率を高めるために電源としてパルス生成回路網を備えることができる。すなわち、プラズマの動力学により、ガス放電の電氣的な特性は例えば10 nsのような極めて短い時間スケールで変化することが判明している。その際の最適なプラズマ動力学は、適切な電流パルス、すなわち、目的に合わせて調整可能な長さ、電流立ち上がり時間、形状などを有する電流パルスによって実現される。電源としてコンデンサ・バンクだけを使用する場合は、振動が調整によって抑制されている場合は、2つのパラメータだけを、すなわち電流の振幅と継続期間だけを調整すればよい。これに対してパルス形成回路網の場合は、パルス特性を目的に合わせて、より精密に調整できる。それによって調整され、改善されたパルス動力学によって、所望のとおりガス放電内に蓄積された電気エネルギーの放射線エネルギーへの変換が改善され、従って変換効率が高まる。

【0023】

同様に、電圧立ち上がり時間を最適化すべき場合には、パルス形成回路網を備えることが有利である。電圧立ち上がり時間とは、電極に印加される電圧を目標値まで高めるために必要な時間のことである。電圧立ち上がり時間がガス放電の破裂時間よりも短い場合は、すなわち電圧の印加と電流の流れとの間の時間よりも短い場合は、点火は電圧が点火電圧よりも高くなると誘発される。これによっても、主電極の開口部の背後の、冒頭に記載した補助電極を設けた場合と同様に、より高いガス圧で動作可能であり、それによって放射線強度が高まる。

【0024】

パルス形成回路網は、それを介して主電極を直接接続することが可能であるコンデンサ・バンクの他に補足的に単数または複数個の別のコンデンサをネットワークに備えることによって実現可能である。この補助コンデンサは単数または複数個の飽和可能な磁気スイッチを介して接続される。このスイッチを適宜に取り付けることによってさらに、例えばピンチ・プラズマの生成段階の直前に、ひいては放射線の放出前に、付加的なエネルギーをプラズマに結合することができる。それによってさらに、この放射源の利用者はより高い放射線出力が得られる。

【0025】

変換効率を高めるためのさらに別の手段は、作動ガス用のガス吸込口およびガス吐出口の他に、補足的なガス取り入れ口を備えることである。通常は、放射源は数パスカルの圧力の準静止ガス流の場合、パッシェン曲線の左区間で動作する。準静止ガス流によって、事実上電極システムの全体に亘って同じ圧力が加わることが保証される。少なくとも1つの別のガス吸込口、またはガス吐出口を備えることによって、電極システムの当該箇所に体系的にガスを吸込み、または吐出することができる。それによって、電極装置の様々な空間領域に様々なガスを供給できる。このようにして、例えばプラズマ・チャネルの領域の対称軸上に高い原子番号を有する単数または複数のガス、例えばキセノン、ネオン、酸素または単なる空気を供給することができる。このような重いガスの場合は、プラズマ状態に遷移する際に、 $\lambda = 1 \sim 20 \text{ nm}$ の関連するスペクトル範囲内で電磁的に移行する種が形成される。別の空間領域、および特にプラズマ・チャネルと放射線放

出窓との間の空間領域には、例えばヘリウムまたは重水素のような軽いガスを供給できる。軽いガスは発生した放射線を吸収するが、その量は極めて少ないので、利用者には特に強い放射線強度が得られる。

【0026】

ガスを吸込みかつ吐出すための別の、もしくは補足的な開口部を設けることの別の利点は、それによってプラズマ・チャネル領域でより簡単に高いプラズマ粒子密度を達成できることにある。これは例えば、装置の対称軸上の中心開口部の間の領域で主ガスであるキセノンにヘリウムを混合することによって達成できる。この空間領域における上記のような均質なガス混合によって、ガス密度が高い場合は点火電圧をプラズマ放射のためにより高い電圧に変更することができる。

【0027】

本発明の装置の別の実施形態では、主電極（1、2）の中心開口部（3、4）が備えられ、この開口部はプラズマ室の反対側ではガスを充填した空隙の側よりも大きい。この際に、双方の開口部の一方だけをこのような寸法にすることもできる。この際に、対称軸上のピンチ・プラズマチャネルの形状が円筒形であるため、開口部（単数または複数）も同じ対称軸を有する円筒形であることが有利である。

【0028】

従って、この電極開口部を円錐もしくは円錐台の形状に形成することができ、円錐台の先端はプラズマ室の方向を向いている。円錐形の開口部によっても変換効率を高めることができる。

【0029】

電極の中心開口部を上記のように選択することによる変換効率の上昇は、それによって標準的な円形の開口部で可能であるよりも多くの放射線を減結合することが可能であることによる。実験では、直径が10 mmの円筒形対称の開口部が選択され、その際に観察者は電極の所定の厚みで対称軸に対して約14°の角度でプラズマを見ることができた。実験で円錐形の対後部を選択すれば、プラズマを60°の角度で見ることができよう。それによってプラズマに同じエネルギーを供給した場合は、円筒形の開口部の場合よりも約20倍高い減結合された（a u

s g e k o p p e l t e) 放射線強度が得られる。

【0030】

円錐形の開口部の別の利点は、空間の角度が一定である場合、より厚い電極を選択することも可能であることである。動作中に電極は冷却されるので、これらの電極の冷却は薄い電極よりも簡単になる。冷却効果が高いことによってさらに、エネルギー供給量が多くなり、それによって効率がより高くなるように電極構造を最適化することが可能である。

【0031】

本発明の装置の別の実施形態では、ガスを充填した空隙(7)と、本装置の超高度真空(UHV)部分との間に、真空分離(Vakuumtrennung)の毛管からなる単数または複数の毛管系が備えられる。毛管は直径と比較して長さが長いことにより、ガスの流れ抵抗が高くなるので、より高い減圧が可能になる。従って、毛管によって特に高い超高度真空が生成されることにより、本装置の前記部分での放射線吸収が低減される。それによって、システムに同じエネルギーを結合した場合は、それぞれの用途で所望のとおりより高い放射線強度が得られる。

【0032】

毛管系の実現を可能にするのは超小型溝付き板(Mikrokanalplatte)である。超小型溝付き板は中空の溝を備えており、これを通して放射線は空隙(7)からUHV領域(19)に到達し、そこから適用部分へと到達することができる。それ自体が薄い超小型溝付き板は極めて安定しており、生成されるEUV線の透過率が高い。従って超小型溝付き板は電極システムの形状に応じて円筒形の円板として形成することができる。超小型溝付き板は1桁ないし2桁のマイクロメートルの領域の直径を有する溝(チャンネル)を設けて形成される。従って、例えば1桁のミリメートル領域の厚みを有する超小型溝付き板を選択することが可能であり、その表面積は超小型溝の開口部の少なくとも50%、好適には少なくとも70%である。

【0033】

さらに、プラズマ源からの放射線が集結され、形成され、それぞれの用途に適

するように光学系へと結合可能である毛管の形状的、空間的な配置が可能である。このような光学系の例としてはクマクホフ (Kumakhov) ・レンズがある。

【0034】

【発明を実施する最良の形態】

次に、本発明による放射線源を実施例に基づいて説明する。

【0035】

図2は変換効率を高め、もしくは放射線収量を高めるための補助電極(9a、9b)を補助的に備えた本発明の装置を示している。電圧を印加した電極(1、2)の間のガスを充填した空隙(7)内に放射線を放出するピンチ・プラズマ(11)が生成される。陰極(1)の空隙(7)とは反対の側にはガス放電の点火電界強度を高めることが可能な補助電極(9a)が備えられる。これによってさらに、より高いガス圧でより多くの放射線収量を生成する動作が可能になる。補助電極(9a)は動作時には陰極(1)に対して正の電位を有している。補助電極の間にはさらに、比較的長いピンチ・プラズマ支柱(11)を生成するための補助電極(9b)が配置される。

【0036】

調査によれば、プラズマ支柱(11)は主電極の開口部(3、8)内に全く、または僅かしか突入せず、従って開口部を円筒形対称に形成した場合は、放射線の減結合用に僅かな空間角度しか利用できないことが判明している。従って、この実施形態の円筒形の開口部(3)は直径が10mmであり、それによって観察者は電極の所定の厚みで、対称軸(5)に対して $\alpha = 14^\circ$ の角度でプラズマを見ることが可能である。従って、放射線収量を高めるため、開口部(8)は円錐形に形成される。開口部(8)を円錐形に形成すると、観察者(12)はプラズマ(11)を対称軸(5)に対して $\beta = 60^\circ$ の角度で観察することができる。それによって、プラズマに同じエネルギーを供給した場合、円筒形の開口部の場合よりも約20倍大きい減結合された放射線強度が得られる。

【0037】

図3は図2と基本的に同一の電極構造を示しているが、補助電極を備えていな

い。補助的に、中空陰極（１）の領域（１４）からガスを吸込み、および／または吐出するための補助開口部（１３a、１３b）を設けている。そこで、開口部（１３b）を経てガス放電に必要な放電ガス、例えばキセノン、酸素、またはSF₆が吸込まれ、空隙（７）内で点火される。図３に図示していない、電極システムの裏側の領域には、ヘリウムまたは水素のような吸収率が低いガスが充填される。生成される放射線にとって透過性が高いこのようなガスは開口部（１３a）を経て領域（１４）へと吸込まれる。この場合、透過性ガスを吸込むための開口部（１３a）はさらに、放電ガスを吸込むための開口部（１３b）よりもさらに開口部（８）から離間している。それによってまず、陰極（１）の領域（１４）の放射線放出窓（１０）側の部分に軽いガスが充填され、領域（１４）の防護ガラス（１０）とは反対側、もしくは開口部（８）の近傍には重いガスが充填される。

【0038】

このような手順によって２つの可能性が生ずる。その１つは、ガスを充填した空隙（７）の領域の図３には図示しない開口部を経て、双方の種類のガスが混合されるように双方のガスが吸収される。それには、電極の空隙（７）内にあるプラズマ・チャネル内のプラズマ粒子密度が高まるという利点を得られる。あるいは、電極システムの裏側の領域で軽いガスの層状の流れを調整することによって、開口部（１３a）の一部を、軽いガスの吸収により混合をできるだけ避けるために利用できる。それによって軽いガスは領域（１４）の放射線放出窓（１０）側の部分に継続的に留まる。しかし、この軽いガスは放電ガスよりも大幅に少なくしか放射線を吸収しないので、利用者には所望のとおり高い放射効率が得られる。

【0039】

開口部（１３a、１３b）を活用する別の可能性は、放電ガスが開口部（１３b）を経てではなく、ガスを充填した空隙（７）、または陽極（２）の領域の開口部（図３には図示せず）および開口部（１３b）を経て吸収されるようにすることである。この軽い、もしくは透過性のガスは開口部（１３a）を経て吸込まれる。この実施形態は、開口部（１３a）をガスの吸込みのためだけではなく、

放電ガス（単数または複数）の吐出のためにも設けることができ、また、開口部（13a）を軽いガス（単数または複数）の吸込みのためだけに設けることができることを示している。

【0040】

図4は電極（1、2）が補足的に円形の開口部（14）を備えている本発明の装置の実施形態を示す。この場合、開口部（14）はそれぞれの電極内部で円形であり、円形の線に対して等距離に配設される。その際に陽極（1）と陰極（2）は対称軸（5）に対して同じ形状的な配置で同一に形成された同数の開口部を有している。このような構成によって、対称軸（5）に沿った陽極（2）内の各開口部（4）への観察方向から見て後側に陰極（1）内の開口部が設けられる。電極に電圧を印加すると、ガス放電の点火段階で複数のプラズマ・ストランド（15）が生成される。プラズマ・ストランド（15）はその後、対称軸（5）上の放射線を放出する単一の中心のピンチ・プラズマ・チャネル（11）へと導通する電流の固有磁界によって集結する。放射線の減結合は対称軸（5）に沿って軸方向に行われる。放射線放出窓側の電極が陰極（1）である場合は、中心開口部（4）と補助開口部（14）との間にシールド（16）を備えることが好適である。シールド（16）の利点は、それによって点火が容易になることであり、しかも点火は細いプラズマ・ストランド（15）のチャネル内でのみ行われ、対称軸（5）に沿った中心チャネル内では行われない。放射線放出窓（10）側の電極が陽極（2）である場合は、点火は陰極側で行われないので、シールド（16）を省いてもよい。

【0041】

図5はさらに、中心開口部（3）を有し、補足的に環状の開口部（17）を有する電極の平面図である。環状の開口部（17）は電極構造の対称軸（5）と一致する中心、もしくは対称軸を有している。この実施形態の放射線放出窓（10）側の電極には、図4に示した実施形態と同様に補助的なシールド（16）が必要である。

【図面の簡単な説明】

【図1】

先行技術の電極構造である。

【図2】

補助電極を有する電極構造である。

【図3】

補助的なガス吸込口を有する電極構造である。

【図4】

補助開口部を有する電極構造である。

【図5】

環状の補助開口部を有する電極である。

【図1】

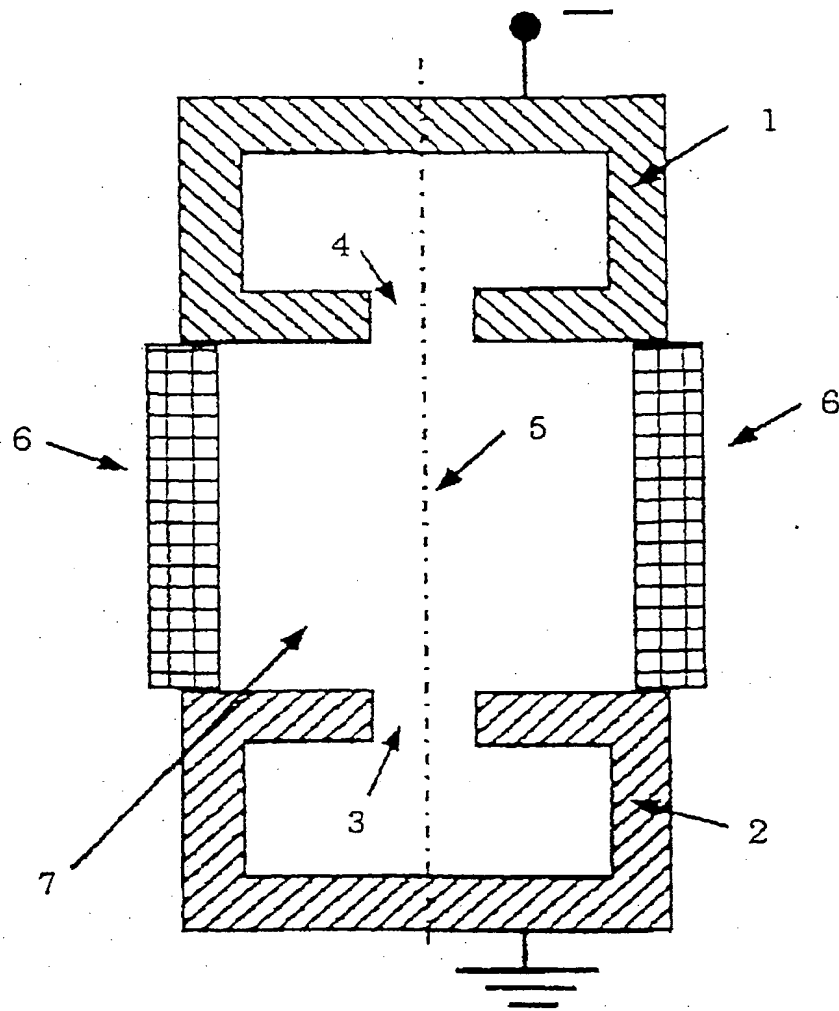


Fig. 1: Stand der Technik

【図2】

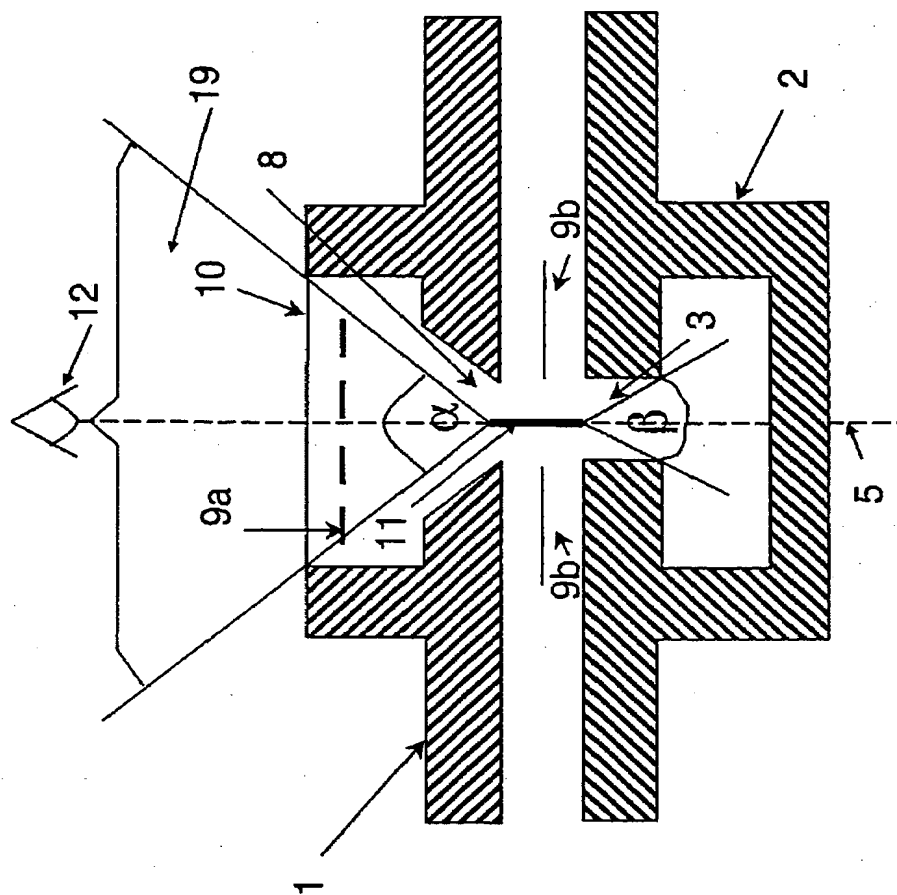


Fig. 2

【図3】

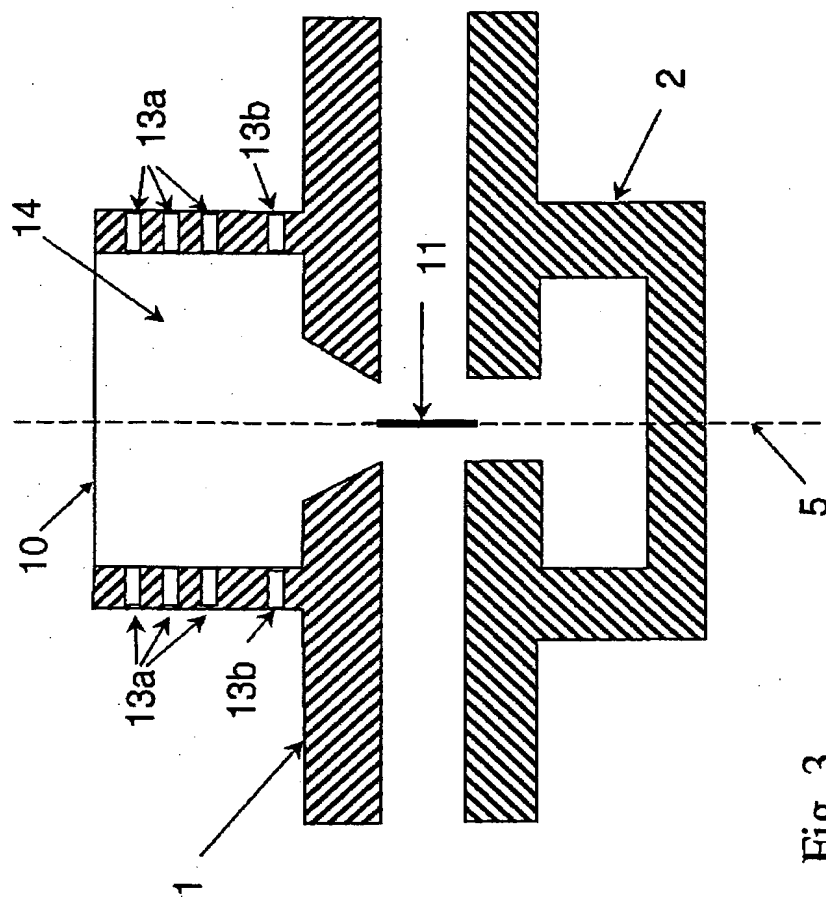


Fig. 3

【図4】

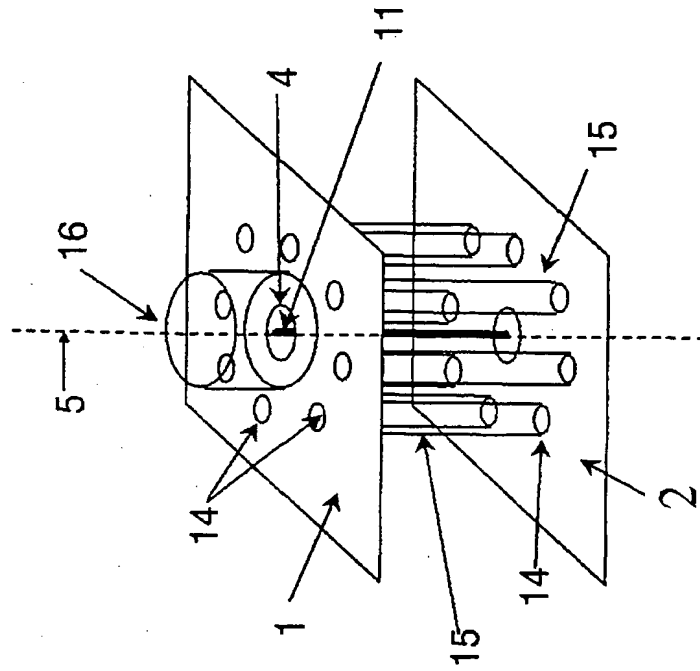


Fig. 4

【図5】

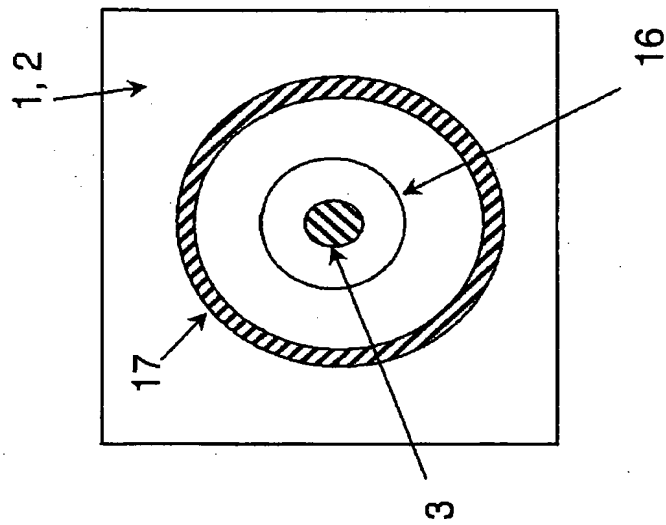


Fig. 5

【手続補正書】特許協力条約第34条補正の翻訳文提出書

【提出日】平成13年7月9日(2001. 7. 9)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 パッシェン曲線の左区間で動作するガス放電から超紫外線および軟X線を生成する装置であって、ガスを充填した空隙(7)を間に設けた2個の主電極(1、2)を備え、前記主電極(1、2)はそれによって対称軸(5)が画定されるそれぞれ1つの開口部(3、4)を設け、かつ前記電極は、ガス放電が位置合わせされた開口部(3、4)によって規定される容積内でのみ行われるように形成され、かつ対称軸上に生成されるプラズマ・チャネルがEUV線および/またはX線の発生源であり、変換効率を高めるための手段(8、9a、9b、13a、13b、14、15、17)を設けていることを特徴とする装置。

【請求項2】 前記開口部(3、4)の少なくとも1つは前記空隙(7)側よりも前記空隙(7)とは反対側の方が大きいことを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】 前記開口部(3、4)は円錐台形で形成されていることを特徴とする請求項2に記載の装置。

【請求項4】 前記開口部は非貫通窪み、および特に袋穴として形成されていることを特徴とする請求項1ないし3の少なくとも1項に記載の装置。

【請求項5】 補助電極(9a、9b)を備えることを特徴とする請求項1ないし4の少なくとも1項に記載の装置。

【請求項6】 補助電極(9a)を前記主電極(1、2)の一方の開口部(3、4)の背後に備えることを特徴とする請求項5に記載の装置。

【請求項7】 対称軸(5)上に開口部を有する前記補助電極(9b)を前

記主電極（１、２）の間に備えることを特徴とする請求項５に記載の装置。

【請求項８】 双方の主電極（１、２）は複数個の開口部（１４）を備えることを特徴とする請求項１ないし７の少なくとも１項に記載の装置。

【請求項９】 前記開口部（１４）は前記中心を貫いて前記対称軸（５）が延在する前記主電極（１、２）内に円形の形状で配設されていることを特徴とする請求項８に記載の装置。

【請求項１０】 前記双方の主電極（１、２）は円形の開口部（１７）を備え、前記円（１７）の中心は前記対称軸（５）上に位置することを特徴とする請求項１ないし７の少なくとも１項に記載の装置。

【請求項１１】 電圧源としてパルス生成回路網（１１）を備えていることを特徴とする請求項１ないし１０の少なくとも１項に記載の装置。

【請求項１２】 前記電極空隙（７）内の作動ガス用の前記ガス吸込口および前記吐出口の他に、少なくとも１つの補助的なガス吸込口またはガス吐出口（１３ａ、１３ｂ）を備えていることを特徴とする請求項１ないし１１の少なくとも１項に記載の装置。

【請求項１３】 ガスを充填した前記空隙（７）と前記装置の高真空領域（１９）との間に真空分離のための毛管系を備えることを特徴とする請求項１ないし１２のいずれか１項に記載の装置。

【請求項１４】 前記毛管系は超小型溝付き板またはクマクホフ（Kumakhov）レンズであることを特徴とする請求項１３に記載の装置。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No.
PCT/EP 00/06080

 A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H05G2/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H05G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

PAJ, WPI Data, EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| Y | DE 197 53 696 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 17 June 1999 (1999-06-17) cited in the application column 4, line 58 - column 5, line 10 figure 2 | 1,2,5,11 |
| Y | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 545 (M-1054), 4 December 1990 (1990-12-04) & JP 02 230601 A (TOSHIBA CORP), 13 September 1990 (1990-09-13) abstract | 1,2,5,11 |
| Y | EP 0 463 815 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO) 2 January 1992 (1992-01-02) column 1, line 53 - line 57 column 4, line 40 - line 48 column 7, line 57 - column 8, line 1 | 5 |
| -/- | | |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"A" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 October 2000

Date of mailing of the international search report

26/10/2000

Name and mailing address of the ISA

 European Patent Office, P.B. 501 8 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo.nl
 Fax: (+31-70) 340-2016

Authorized officer

Capostagno, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Appl. No.
PCT/EP 00/06080

| C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|--|--|-----------------------|
| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | US 4 771 447 A (SAITOH YASUNAO ET AL) 13 September 1988 (1988-09-13) cited in the application column 7, line 5 - line 23 figure 6 ---- | 3,12 |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 459 (E-832), 17 October 1989 (1989-10-17) & JP 01 176688 A (LASER-TEC KENKYUSHO:KK), 13 July 1989 (1989-07-13) abstract ---- | 4 |
| A | US 5 175 755 A (KUMAKHOV MURADIN A) 29 December 1992 (1992-12-29) column 3, line 16 - line 36 ----- | 13,14 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/EP 00/06080

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|---|--|
| DE 19753696 A | 17-06-1999 | WO 9929145 A EP 1036488 A | 10-06-1999 20-09-2000 |
| JP 02230601 A | 13-09-1990 | NONE | |
| EP 0463815 A | 02-01-1992 | DE 69113332 D DE 69113332 T JP 4262359 A US 5185552 A | 02-11-1995 14-03-1996 17-09-1992 09-02-1993 |
| US 4771447 A | 13-09-1988 | JP 1704866 C JP 3073101 B JP 62172648 A JP 1909171 C JP 6038391 B JP 61251033 A DE 3688946 D DE 3688946 T EP 0201034 A | 27-10-1992 20-11-1991 29-07-1987 09-03-1995 18-05-1994 08-11-1986 07-10-1993 13-01-1994 12-11-1986 |
| JP 01176688 A | 13-07-1989 | NONE | |
| US 5175755 A | 29-12-1992 | US 5192869 A AT 164257 T AU 9032291 A BR 9107061 A CA 2095222 A DE 9117302 U DE 69129117 D DE 69129117 T EP 0555376 A JP 7504491 T WO 9208235 A US 5497008 A | 09-03-1993 15-04-1998 26-05-1992 21-09-1993 01-05-1992 21-10-1999 23-04-1998 06-08-1998 18-08-1993 18-05-1995 14-05-1992 05-03-1996 |

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY,
DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, I
T, LU, MC, NL, PT, SE), JP, KR, U
S

(72)発明者 クラウス ベルグマン
ドイツ連邦共和国 デー-52134 ヘルツ
オーゲンラス ローランドストラーセ 35
-39

(72)発明者 オリバー ローズィアー
ドイツ連邦共和国 デー-41363 イウー
ヘン シュルツストラーセ 85

Fターム(参考) 4C092 AA07 AA14 AB21 AC09 BB40
BD09 BD18
5F046 GC03